

# 태화강 수질개선사업의 투자효과 분석

The Effects of the Project Investment for Water Quality Improvement  
in the River Taehwa

김재홍 울산대학교 사회과학부 교수  
Kim Jaehong Professor, School of Social Sciences, Univ. of Ulsan  
(jhkim@ulsan.ac.kr)

## 목 차

### I. 서론

### II. 선행연구

### III. 태화강 수질개선사업 및 측정지점별

수질개선 추이

1. 태화강 수질개선사업
2. 태화강 하류의 측정지점별 수질개선 추이

### IV. 수질개선사업별 태화강의 측정지점별

수질개선 효과 분석

1. 추정모형 및 추정방법
2. 추정결과 및 해석
3. 모형별 수질개선사업의 BOD 저감효과 비교분석

### V. 결론

※ 본 논문은 2007년도 울산대학교 교비연구비 지원에 의한 것임.

## I. 서론

울산광역시는 2004년 6월 9일 에코폴리스 울산 선언 이후 울산의 공해도시 이미지를 극복하고 세계적인 환경개선 시범도시로 거듭나기 위하여 다방면의 환경개선을 위한 투자와 노력을 경주하고 있다. 울산광역시의 이러한 환경개선 노력 중 가장 중추적인 사업 중의 하나가 태화강 수질개선사업이다.

태화강은 울산시를 동서로 가로지르는 유로연장 47.54km의 하천으로서 1980년대 이후 울산의 급속한 인구증가와 도시화 구역의 확장으로 인하여 하류수질은 1991년 BOD기준으로 11.7ppm에 이를 정도로 급격히 악화되었다. 이에 따라 1990년대 초반부터 태화강의 수질개선을 위한 각종 사업이 시행되었다. 태화강의 주요 수질개선사업은 1995년에 준공된 용연하수처리장 및 차집관로 건설을 필두로 2004년에 준공된 언양수질개선사업소 건설, 2007년에 완결된 가정오수관 연결사업 등의 각종 수질개선 인프라 건설사업, 2004년부터 2007년까지의 퇴적오니 준설사업, 하구하상준설사업, 지천환경개선사업 등을 들 수 있다. 이러한 사업의 성과로 태화강 하류수질은 1997년의 BOD 기준 10.0ppm(수질 및 수생태계 상태의 ‘매우 나쁨’ 등급(VI))에서 2007년에는 1.7ppm 이하(수질 및 수생태계 상태의 ‘ 좋음’ 등급(Ib))로 낮아졌다.

태화강 하류의 삼호교~태화교 구간은 2008년 현재 Ib등급 수질을 유지하고 있으며, 2004년부터 전국수영대회를 개최할 수 있을 정도로 수질이 개선되었다. 또한 인구밀집지역인 태화교~명촌교 구간의 수질도 BOD 기준 평균 2.0ppm 수준으로 급격한 개선이 이루어졌다. 이처럼 1990년대 이후 태화강 수질개선사업의 결과 태화강 하류의 수질이 전반적으로 개선된 것은 사실이다. 그러나 막대

한 예산의 투입에도 불구하고 현재까지 각종 수질 개선사업이 태화강 하류의 측정지점별 수질개선에 얼마나 영향을 주었는지에 대한 사업별 수질개선 효과의 계량적 분석이 전무한 실정이다. 이에 따라 태화강 수질개선의 사업별 계량적 효과를 측정지점별로 분석할 필요가 있으며, 본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 태화강 하류의 일반현황 및 수질측정지점별 수질변화의 추이를 분석한다. 둘째, 1990년대 이후 태화강 수질개선을 위한 각종 사업과 투자비용이 태화강 하류의 권역별, 측정지점별 수질 변화에 어떠한 영향을 미쳤는지를 시계열자료를 이용하여 계량적으로 분석한다. 셋째, 분석결과를 바탕으로 향후 태화강 수질개선 및 관리를 위한 정책방향을 제시한다.

본 연구는 울산광역시 환경정책과에서 제공한 태화강 수질측정지점별 원자료(매월 1회차 측정자료)를 이용하며, 분석의 시간적 범위는 1998년 1월부터 2007년 12월까지로 한다. 연구의 공간적 범위는 국가하천 구간인 태화강 하류의 4개 측정지점(삼호교, 태화교, 학성교, 명촌교)으로 한정한다(<그림 1> 참조).

본 연구에서는 두 가지 연구방법을 사용한다. 권역별, 측정지점별 수질변화의 추이를 분석하기 위해서는 기술통계적 방법을 사용하며, 수질개선 사업의 효과 분석을 위해서는 측정지점별 BOD를

그림 1\_ 태화강 하류 수질측정지점



종속변수로 하고 각종 수질개선사업 투자비용과 강수량을 독립변수로 사용하는 회귀분석을 실시한다. 본 연구에서 사용하는 자료가 측정지점별로는 시계열 자료이고 하류 전체로는 시계열횡단 자료이기 때문에 측정지점별로는 오차항의 자기상관(autocorrelation) 편의를 제어하는 1차 자기상관 모형(first order autocorrelation model)을 이용하며, 하류 전체에는 시계열횡단 선형모형(time series cross section linear model)을 적용하여 최우추정법(maximum likelihood estimation)으로 모형을 추정한다.

서론 이후 본 연구의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 연구와 관련된 선행연구를 검토하고, III장에서는 태화강 수질개선사업의 주요내용과 측정지점별 수질개선 추이를 기술한다. IV장에서는 사업별 수질개선 효과를 분석하기 위한 추정모형과 추정방법을 설명하고 추정결과를 해석한다. 마지막으로 V장에서는 연구의 내용을 요약하고 분석결과의 시사점을 제공한다.

## II. 선행연구

현재까지 수행된 수질관련 연구는 대부분 시계열 자료를 이용한 수질예측이나 자연과학적인 수질요인 분석이 주를 이루고 있다. 그러나 다양한 수질개선사업이 수행되고 있지만 이러한 사업들의 수질개선 효과를 직접적으로 측정하는 연구는 현재까지는 찾아 볼 수 없는 실정이다. 그럼에도 불구하고 간접적으로 수질개선사업의 효과분석을 시도한 연구는 일부 존재한다.

김광수·권오상(2009)은 한강유역을 대상으로 수질오염의 공간적 분포변화 및 측정지점별 물 환경 보전정책의 도입으로 인한 수질오염도의 변화와 편익의 공간적 형평성을 분석하고 있다.

유재정 외(2007)는 낙동강의 장기적인 수질변동 추세를 분석하면서 자연적 요인을 배제한 수질개선정책의 시기별 사업효과에 대한 비교분석을 시도했다는 점에서 의의를 가진다.

김상단·유철상(2004)은 ARMAX모형을 이용하여 팔당댐 방류량과 수질이 노량진 지점의 수질에 미치는 영향을 분석하였으며 팔당댐 방류량의 증가와 수질개선이 결합되었을 때 효과적인 하류 수질개선이 이루어짐을 모의실험을 통하여 규명하고 있다. 이 연구는 일반적인 수질예측과는 달리 투입변수와 종속변수 간의 동적 관련성을 분석하였다는 점에서 본 연구의 방법론 적용에 시사점을 주고 있다.

한미덕 외(2009)는 팔당수계의 하천을 대상으로 수질의 시공간적 변화에 대한 상류유역의 물리적인 특성의 영향을 분석하고 있다. 이 연구는 수질변화의 시공간적 변화의 원인을 지역의 유역특성에서 규명하고 있다는 점에서 의의가 있다. 이러한 연구 외에도 이흥수 외(2006)는 갑천을 대상으로 수질변화의 공간적 특성을 하수처리장 방류량, 강수량의 계절적 변화에 따라 분석하고 있으며, 유효식(2004)은 한강수질의 시공간적 월변동성을 자기상관 함수와 이동평균법을 이용하여 인접지역과의 수질연관성, 지역별 수질변동성, 수질의 계절적 변동성 등을 분석하고 있다.

이러한 수질예측 및 수질변화의 원인규명 연구와는 달리 수질개선의 편익을 지불의사형태로 추정하여 향후 수질개선사업의 투자비용에 대한 근거를 제시하고자 하는 연구들이 시도되고 있다. 이러한 연구에서는 주로 가상시장을 설정하고 다양한 형태의 조건부가치추정법(CVM) 또는 컨조인트 분석법을 적용하고 있으며 2000년 이후의 연구사례는 <표 1>에 소개되어 있다. 2000년 이전의 대표적인 연구로는 4대강을 대상으로 CVM을 적용한 이

표 1\_ 국내의 하천수질개선의 경제적 편익 추정사례

대상하천	연구자	연구방법	주요 연구결과
만경강	엄영숙(2001)	조건부가치측정법 (이중양분선택)	만경강수질을 수영 가능 수준으로 개선시킬 때의 평균 지불의사금액은 월평균 5,171~5,212원으로 추정됨
한강	이승복(2002)	조건부가치측정법 (지불카드)	서울시 500가구 대상의 수질개선 편익은 가구당 월평균 6,875원, 서울시 연평균 편익은 2,856억 원으로 추정됨
한강	조승국·신철오 (2005)	컨조인트분석법	한강 수질개선의 서울시 연평균 경제적 편익은 2조 7,500억 원으로 추정됨
태화강	김재홍(2007)	조건부가치측정법 (이중양분선택)	태화강 수질개선(수영가능 수준)의 경제적 편익은 가구당 월평균 3,459원, 울산시 연평균 147.6억 원으로 추정됨
낙동강	이주석 외(2007)	조건부가치측정법 (일점오양분선택)	영남권 5개 도시를 대상으로 낙동강 수질을 1급수로 개선할 때의 연간편익을 249.1~728.8억 원으로 추정함
태화강	김재홍(2009)	조건부가치측정법 (다항선택형)	선호불확실성을 고려한 다항선택형 CVM을 이용하여 태화강 하류수질 Ib등급 유지의 경제적 편익과 이를 위한 투자비용 간의 비용편익을 분석함

기호·곽승준(1996), 한강을 대상으로 이중양분선택형 CVM을 이용한 신영철(1997), 여행접근법과 CVM을 적용하여 한강수계의 여가활동의 편익을 연구한 김광임 외(1999) 등이 있다.

### III. 태화강 수질개선사업 및 측정지점별 수질개선 추이

#### 1. 태화강 수질개선사업

태화강 수질개선 사업은 약 870억 원을 투입하여 1995년에 준공된 용연하수처리장 및 차집관로 건설을 시작으로 1995년부터 현재까지 12개 수질개선사업이 진행되고 있고, 2007년 말까지 9개 사업이 종료되었으며 총사업비는 약 2,647.5억 원이 투입되었다. 태화강 하류의 수질개선과 관련된 주요 사업의 세부현황은 <표 2>에 요약되어 있다.

이들 사업 중 태화강 하류의 수질개선에 영향을

미친 것으로 판단되는 주요 사업으로는 가정오수관 연결사업(약 450억 원), 태화강 퇴적오니 준설사업(약 160억 원), 하상준설 및 하도정비사업(312억 원) 등을 들 수 있다. 그러나 가정오수관 연결사업의 경우 본 연구의 시간적 범위인 1998년 이후의 투자비용은 약 266억 원으로 추산되며, 하상준설 및 하도정비사업의 경우 총사업구간 5.94km 중 태화강 구간은 하구지역인 방사보 주변에 국한되기 때문에 본 연구에서는 제외한다. 또한 용연처리구역 하수관거정비사업과 지천정비사업은 현재 시작 단계이기 때문에 본 연구의 분석 대상에서 제외한다. <표 2>에서는 제시되지 않았지만 태화강 하구의 방사보 철거사업은 사업비용도 다른 사업에 비하여 매우 적음에도 불구하고 태화강 수질에 미치는 영향이 큰 것으로 판단될 뿐만 아니라 최근 중앙정부의 '4대강 살리기 사업'과 관련하여 태화강 방사보 철거가 사례로 논의되고 있어서 본 연구의 분석 대상 사업으로 추가하였다.

표 2\_ 태화강 하류 수질개선사업 총괄표(2007년 12월 말 현재)

사업명	사업기간	사업개요	사업비 (백만 원)				영향하천구간	비고
			계	국비	시비	구군비		
가정오수관 연결사업	'95.~'07.9	· 관거매설: 44,221건 (중구: 20,482, 남구: 23,739건)	44,859	4,600	40,259	-	하류	완료
태화강유입 생활오수차단사업	'03.~'04.6	· 구영리~명촌교	1,132	-	1,132	-	하류	완료
태화강 퇴적오니 준설사업	'04.~'07.2	· 삼호교~방사보(8.8km) · 537천m <sup>3</sup> 준설	16,000	5,372	10,628	-	하류	완료
하상준설 및 하도정비사업	'04.~'07.7	· 방사보 주변~하구(2.4km) · 동천 3.54km (삼일교~태화강)	31,221	19,820	11,401	-	하류	완료
무거·여천천 자연형하천조성	'02~'07.12	· 조성구역: 5.5km · 유지수 확보: 21천m <sup>3</sup>	18,510	9,255	4,627	4,628	하류	73%
용연처리구역 하수관거정비사업	'03~'10	· 관거: 68.46km 중구: 33km, 남구: 14.4km	15,342	3,806	11,536	-	하류	24%

자료: 울산광역시 환경정책과 내부자료, 2008.

## 2. 태화강 하류의 측정지점별 수질개선 추이

1998년 1월부터 2007년 12월까지 10년 동안의 매월 1회차 측정지점별 수질측정 원자료를 이용한 태화강 하류의 수질개선 추이를 살펴보면 <표 3>에서 보는 것처럼 BOD 기준으로 1998년 평균 6.47ppm에서 2007년 평균 1.66ppm으로 현저히 낮아졌다. 하류 구간의 수질을 측정지점별로 살펴보면, 삼호교 인근 측정지점에서는 BOD 기준으로 2000년 평균 3.21ppm(최소 0.8, 최대 6.3)을 정점으로 지속적으로 감소하여 2002년 이후 평균적으로는 Ib등급 수질을 유지하고 있고, 2007년에는 평균 0.98ppm, 최대 1.8ppm으로 안정적인 Ib등급 수질로 개선되었다.

태화교 측정지점에서는 1998~2006년에는 평균 3.38~6.47ppm이었으나 2007년에는 평균 2.00ppm으로 현저히 개선되었으며, 2007년의 경

우 1월 1회차 4.0ppm, 8월 1회차 3.5ppm을 제외하면 안정적인 II등급 이하 수질을 유지하고 있다.

학성교 측정지점의 경우 1998년 평균 15.34ppm을 기록한 이후 점진적으로 개선되어 2007년에는 평균 1.88ppm으로 개선되어 안정적인 II등급 이하의 수질을 유지하고 있다. 명촌교 측정지점은 1999년 평균 4.89ppm이었으나 2003년 이후 평균적으로 II등급 수준을 유지하고 있으며, 2007년에는 Ib등급인 평균 1.77ppm으로 개선되었다. 상기한 태화강 하류의 수질개선 추이를 볼 때 2008년~2014년 기간 동안 굴화하수처리장 건설사업, 태화강유입 생활오수 차단사업(2단계사업), 태화강 자연형 하천정화사업, 유지용수 확보사업 등 1,330억 원이 투입될 태화강 마스터플랜에 의한 수질개선사업이 완료되면 태화강 하류는 II등급 이하의 안정적 수질을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3\_ 태화강 하류 측정지점별 수질(BOD) 변화 추이

(단위: mg/l)

측정지점		1998년	1999년	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
삼호	평균	1.86	2.37	3.21	2.38	1.62	1.05	1.19	1.08	1.32	0.98
	표준편차	1.00	1.48	2.02	1.31	0.93	0.34	0.72	0.47	0.68	0.51
	최소/최대	0.7/3.8	0.7/4.6	0.8/6.3	0.8/4.5	0.6/3.4	0.1/1.4	0.2/3.0	0.2/2.0	0.3/2.5	0.1/1.8
태화	평균	4.21	4.10	5.00	6.47	4.88	3.38	5.08	4.03	6.01	2.00
	표준편차	1.57	2.41	2.72	4.57	3.41	3.37	4.64	2.66	8.68	1.03
	최소/최대	1.8/6.8	1.3/8.7	1.5/9.5	2.0/18.5	1.7/11.9	0.8/11.4	0.9/13.2	0.7/8.3	1.1/31.8	0.8/4.0
학성	평균	15.34	4.59	7.32	8.18	5.60	3.34	3.96	2.98	3.22	1.88
	표준편차	17.51	3.33	7.20	6.46	4.84	2.16	2.03	1.30	1.96	0.71
	최소/최대	2.0/61.0	0.9/10.6	1.0/24.0	3.2/22.8	1.6/19.5	0.6/7.0	1.7/9.0	1.7/5.6	1.4/8.0	0.2/2.9
명촌	평균	4.84	4.89	4.23	4.58	5.43	2.81	2.72	2.55	2.43	1.77
	표준편차	1.66	2.85	2.20	2.33	3.16	1.22	1.38	1.11	1.16	1.12
	최소/최대	2.7/6.9	1.6/9.5	1.5/8.4	2.4/10.8	2.0/12.3	1.1/5.5	1.2/5.2	1.2/4.5	1.1/5.4	0.8/4.4
하류 전체	평균	6.47	3.99	4.94	5.40	4.38	2.65	3.24	2.66	3.22	1.66
	표준편차	9.80	2.71	4.27	4.59	3.66	2.25	2.95	1.88	4.69	0.94
	최소/최대	0.7/61.0	0.7/10.6	0.8/24.0	0.8/22.8	0.6/19.5	0.1/11.4	0.2/13.2	0.2/8.3	0.3/31.8	0.1/4.4

자료: 울산광역시 환경정책과 내부 원자료(각 연도 월별 1회차 자료)를 이용하여 작성.

#### IV. 수질개선사업별 태화강의 측정지점별 수질개선 효과 분석

##### 1. 추정모형 및 추정방법

수질측정지점별 수질은 측정지점의 오염물질 부하량, 강수량, 유량, 유속, 수온, 측정지점 상류의 수질 등의 자연적 요인과 각 측정지점에서 수행된 각종 수질개선사업과 같은 인위적 요인에 의하여 영향을 받는다(김상단·유철상, 2004; 이흥수 외, 2006; 유호식, 2004). 특정지점의 수질에 미치는 영향을 분석하기 위해서 측정지점별 수질을 종속수로 하고 각종 수질관련 요인과 정책변수 등을 독립

변수로 한 회귀분석을 실시하여 각 독립변수의 수질변화에 미치는 인과관계를 추정한다(조덕호·엄홍석, 2005; Ramakar et. al. 2007; Padgett, et al. 1977). 본 연구에서는 측정지점에서의 수질 개선사업이 수질에 미치는 영향을 분석하기 위하여 각 수질개선사업의 투자비용을 독립변수에 추가하여 회귀식을 구성한다.

본 연구에서 사용하는 추정모형은 종속변수에 자연로그를 취한 반대수 모형(semi-log model)<sup>1)</sup>을 취하는 시계열 분석모형이며, 추정모형은 태화강 하류 전체, 삼호교, 태화교, 학성교, 명촌교 측정지점의 수질변화를 대상으로 한다. 종속변수는 측정지점별 월별 lnBOD, 독립변수는 가정오수관

1) 다양한 형태의 회귀분석모형을 이용한 사전 분석 결과 반대수 모형이 가장 적절한 것으로 나타났기 때문에 본 연구에서는 반대수 모형을 이용함.

사업비용, 퇴적오니준설 사업비용, 방사보 철거 가변수, 강수량 등이다. 이에 따라 측정지점별 추정 모형은 <식 1>과 같이 주어진다.

$$\ln BOD = f(\text{오수관, 퇴적오니, 방사보, 강수량}) \quad \text{<식 1>}$$

<식 1>을 OLS로 추정할 경우 주어진 자료가 시계열 자료이기 때문에 오차항의 자기상관 (autocorrelation)이 발생할 가능성이 존재한다. 이 경우 추정된 회귀계수에 편의가 발생하기 때문에 이의 교정이 필요하다. 이에 따라 본 연구에서는 OLS 대신에 최우추정법(maximum likelihood estimation)을 이용한 1차 자기상관 회귀분석방법 (first order autocorrelation regression: AR1)을 이용한다. AR1 회귀분석의 추정절차는 다음과 같다(Greene, 2007). lnBOD를 Y라 두면 추정회귀식은 <식 2>와 같다.

$$\begin{aligned} Y_t &= \beta' X_t + \epsilon_t \\ \epsilon_t &= \rho \epsilon_{t-1} + \mu_t \end{aligned} \quad \text{<식 2>}$$

첫 번째 단계는 <식 2>의 OLS 추정에 의하여 오차항의 자기상관계수의 추정치  $\rho$ 를 더빈왓슨 통계량(DW)으로부터 구한 다음 <식 2>를 <식 3>으로 변환한다.

$$\begin{aligned} Y_1^* &= (1 - \rho^2)^{1/2} Y_1, X_1^* = (1 - \rho^2)^{1/2} X_1 \\ Y_t^* &= Y_t - \rho Y_{t-1} = \beta' (X_t - \rho X_{t-1}) + \mu_t \end{aligned} \quad \text{<식 3>}$$

두 번째 단계는 <식 3>을 OLS로 추정한 다음, 세 번째 단계에서 GLS 통계량을 이용하여 반복추정에 의하여  $\rho$ 의 최적치를 추정한다. 최우추정법 (ML)을 이용할 경우에는 GLS 대신에 FGLS

(feasible generalized least square)을 이용하며 본 연구에서는 최우추정법을 적용하였다. <식 3>을 이용할 경우 Cochran-Orcutt 유형의 2단계 OLS 추정에서 시차변수(lagged variable) 때문에 첫 번째 관측치를 제외해야 약점을 해결할 수 있다.

한편, 네 개의 측정지점을 모두 포함하는 태화강 하류 전체 모형을 추정하기 위해서는 측정지점별 모형에서와 다른 추정상의 문제가 발생한다. 즉, 상기한 오차항의 자기상관 문제와 함께 측정지점별 이분산성 및 측정지점 간의 상관관계가 발생한다. 이러한 추정상의 문제를 해결하기 위하여 본 연구에서는 Greene(2003)에서 제시하고 있는 시계열횡단자료(time series-cross section data) 모형(TSCS model)을 이용한다. TSCS 모형은 가정에 따라 다양한 형태로 추정되지만 본 연구에서는 그룹별 이분산성, 그룹 간 상관관계, 그룹 내의 자기상관을 모두 고려하는 최우추정법을 이용하며, TSCS 모형의 추정회귀식과 추정절차는 다음과 같다.

$$Y_{it} = \beta' X_{it} + \epsilon_{it}, i = 1, \dots, N, t = 1, \dots, T \quad \text{<식 4>}$$

<식 4>에서  $i$ 는 그룹지표,  $t$ 는 시간지표를 의미하며, 회귀계수벡터  $\beta$ 는 시간과 그룹에 관계없이 동일하게 추정된다. 그룹별 이분산성  $E(\epsilon_{it}^2) = \sigma_{it}$ , 그룹 간 상관관계수  $Cov(\epsilon_{it}, \epsilon_{tj}) = \sigma_{ij}$ , 그룹 내 자기상관  $\epsilon_{it} = \rho_i \epsilon_{(t-1)i} + \mu_{it}$ 을 모두 고려하기 위하여 3단계 GLS 추정법을 이용하며, 최우추정법의 경우에는 GLS 대신에 FGLS를 이용한다. <식 3>과 <식 4>의 추정회귀식에서 종속변수 BOD를 자연로그로 치환한 lnBOD로 두었기 때문에 추정회귀계수벡터 중 오수관의 회귀계수를  $b$ 라고 두면 오수관 사업비용 1단위 증가 시 BOD 증가는  $b \times \overline{BOD}$ 로 계산된다.

<식 3>과 <식 4>를 추정하기 위한 자료 설명은 다음과 같다. 수질자료(BOD)는 태화강 하류의 4개 수질측정지점인 삼호교, 태화교, 학성교, 명촌교의 1998년 1월부터 2007년 12월까지의 월별 1회차 원 자료이다. 이 자료에서 삼호교와 태화교의 1998년 1월 자료가 누락되어 총 표본수는 478개이지만 특이치인 BOD 30ppm 이상 2개 표본을 분석에서 제외시켜 최종 분석자료는 476개의 케이스로 구성되었다.

독립변수 중 가정오수관 사업비용은 사업기간 동안의 매월 사업규모에 대한 자료를 이용하여 월별 사업비용을 추정하였으나, 퇴적오니준설 사업비용의 경우에는 월별 사업비용을 구할 수 없어서 각 연도 사업비용을 매월 동일하게 배분하는 방식을 사용하였으며, 매월의 사업비용 변수는 매월의 누적사업비용을 의미한다. 즉, 이전 사업의 효과가 계속 지속된다고 가정하는 것이다. 강수량 자료는 기상청에서 제공하는 월별 강수량 자료를 이용하였다. 방사보 철거는 2006년 4월에 완료되었기 때문에 방사보 철거 이후는 1, 이전은 0으로 하는 가변수(dummy variable) 형태로 하였다. 그러나 방

사보 변수는 퇴적오니와 오수관 변수와의 높은 상관관계에 기인하는 다중공선성 문제 때문에 모형에 따라 누락될 수도 있음을 사전에 기술한다. 유량, 유속, 수온, 오염부하량 등의 요인이 수질에 미치는 영향이 클 것으로 판단되지만 본 연구의 자료와 시점별로 일치하는 자료의 구득이 어려워 독립변수로 추가할 수 없었다. <식 3>과 <식 4>의 추정에 사용된 변수의 설명과 기술통계량은 <표 4>와 같다.

**2. 추정결과 및 해석**

<식 3>의 1차 자기상관 회귀모형(AR1 모형)과 <식 4>의 시계열횡단 자료 회귀모형(TSCS모형)의 최우추정법 추정결과는 <표 5>에 요약되어 있다. TSCS 모형으로 추정한 태화강 하류의 4개 측정지점을 모두 포함하는 하류전체 모형에서는 오수관, 퇴적오니, 강수량 등 모든 독립변수가 5% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 하류전체 모형에서 가정오수관연결 사업비용 10억 원 투자에 태화강 하류수질은 하류 평균 BOD의 2.349%

**표 4\_ 변수의 설명 및 기술통계량(평균, 표준편차)**

변수	설명(단위)	하류전체	삼호교	태화교	학성교	명촌교
BOD	수질(ppm)	3.67 (3.52)	1.70 (1.25)	4.29 (3.24)	5.08 (5.16)	3.62 (2.25)
오수관	누적사업비(10억)	33.31 (9.73)	33.36 (9.75)	33.14 (9.79)	33.48 (9.70)	33.24 (9.80)
퇴적오니	누적사업비(10억)	3.81 (5.81)	3.83 (5.83)	3.75 (5.81)	3.86 (5.85)	3.80 (5.82)
총투자	누적사업비(10억)	37.12 (14.64)	37.19 (14.69)	36.89 (14.69)	37.35 (14.66)	37.04 (14.72)
강수량	월강수량(10mm)	11.59 (11.90)	11.59 (11.96)	11.67 (11.93)	11.52 (11.99)	11.59 (11.91)
방사보	*06.4전=0, 이후=1	0.17 (0.37)	0.17 (0.38)	0.17 (0.38)	0.17 (0.38)	0.17 (0.37)
표본수	표본수(개)	476	119	119	118	120

(보다 정확하게는 2.349%)인 0.086ppm 감소하는 것으로 나타나 1998년 1월부터 2007년 9월까지의 총투자비용을 약 266억 원으로 계상하면 동기간 동안 태화강 하류의 BOD는 가정오수관 연결사업에 의하여 2.288ppm 감소 효과가 있었다는 것을 의미한다. 동기간 중 태화강 하류의 평균 BOD가 4.81ppm 저감되었으며, 이 저감분 중 46.4%가 가정오수관 연결사업의 효과인 것으로 설명될 수 있다. 퇴적오니의 경우에도 퇴적오니 준설사업 투자비용 10억 원당 태화강 하류의 BOD는 2.226%(0.082ppm) 감소하며, 동 사업에 2004년 4월부터 2007년 2월까지의 36개월 동안 160억 원이 투자되었으므로 동 기간 동안 태화강 하류평균 BOD의 약 1.312ppm 감소에 기여한 것으로 추정되며 동기간 수질개선치의 27.2%를 설명한다. 강수

량의 경우 강수량 10mm당 BOD 0.8%의 감소효과가 있는 것으로 추정되었으며 이러한 결과는 갈수기에 수질이 악화된다는 것을 의미한다.

4개 측정지점별 자기상관모형의 최우추정결과, 오수관은 태화교 측정지점을 제외한 3개 측정지점의 경우 5% 유의수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 1998년 1월부터 2007년 12월까지의 기간 동안 가정오수관 연결사업의 투자비용 10억 원당 BOD 감소효과는 삼호교 3.5%(0.06ppm), 태화교 1.0%(0.04ppm), 학성교 2.8%(0.14ppm), 명촌교 2.4%(0.09ppm)인 것으로 추정된다. 퇴적오니는 태화교와 명촌교에서만 10% 유의수준에서 통계적으로 유의하게 나타나고 있다. 측정지점별 퇴적오니 준설사업의 투자비용 10억 원당 BOD 감소효과는 태화교 1.0%(0.04ppm), 명촌교

표 5\_ 모형 추정 결과(오수관+퇴적오니)

변수	하류 전체 TSCS 모형	삼호교 AR1-ML모형	태화교 AR1-ML모형	학성교 AR1-ML모형	명촌교 AR1-ML모형
상수	2.023 (11.679)**	1.438 (3.861)**	1.865 (5.487)**	2.420 (6.262)**	2.089 (8.754)**
오수관	-0.023 (-4.166)**	-0.035 (-2.852)**	-0.010 (-0.907)	-0.028 (-2.149)**	-0.024 (-3.080)**
퇴적오니	-0.023 (-2.343)**	0.001 (0.072)	-0.032 (-1.678)*	-0.024 (-1.114)	-0.024 (-1.775)*
강수량	-0.008 (-3.140)**	0.002 (0.316)	-0.019 (-3.415)**	-0.010 (-1.767)*	-0.007 (-1.650)*
$\rho$	<주 2 참조>	0.240 (2.683)**	0.169 (1.865)*	0.203 ( 2.240)**	0.115 ( 1.259)
Log 우도	-482.550	-115.651	-116.230	-123.010	-81.981
Pseudo $R^2$	0.177	0.210	0.227	0.254	0.352
OLS DW	-	1.541	1.670	1.617	1.756
AR-ML DW	-	2.018	1.991	2.079	2.027
표본수	476	119	119	118	120

주: 1) ( ) 수치는 t-값, \*, \*\*는 각각 10%와 5%에서 통계적으로 유의함을 표시함.

2) 집단별  $\rho$ 는 삼호: 0.213, 태화: 0.222, 학성: 0.196, 명촌: 0.116

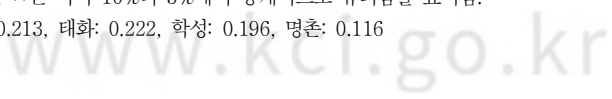


표 6\_ 모형 추정 결과(총투자)

변수	하류 전체 TSCS 모형	삼호교 AR1-ML모형	태화교 AR1-ML모형	학성교 AR1-ML모형	명촌교 AR1-ML모형
상수	2.016 (19.117)**	1.085 (4.703)**	2.068 (9.875)**	2.383 (10.216)**	2.082 (14.251)**
총투자	-0.023 (-9.339)**	-0.022 (-4.058)**	-0.018 (-3.646)**	-0.026 (-4.778)**	-0.024 (-7.085)**
강수량	-0.008 (-3.144)**	0.002 (0.345)	-0.018 (-3.395)**	-0.010 (-1.777)*	-0.007 (-1.658)*
$\rho$	<주 2> 참조	0.255 (2.869)**	0.175 (1.926)*	0.203 (2.239)**	0.115 (1.260)
Log 우도	-482.295	-116.352	-116.595	-123.018	-81.981
Pseudo $R^2$	0.177	0.194	0.221	0.254	0.353
OLS DW	-	1.511	1.659	1.617	1.756
AR-ML DW	-	2.027	1.993	2.079	2.027
표본수	476	119	119	118	120

주: 1) ( ) 수치는 t-값, \*, \*\*는 각각 10%와 5%에서 통계적으로 유의함을 표시함.

2) 집단별  $\rho$ 는 삼호: 0.217, 태화: 0.219, 학성: 0.196, 명촌: 0.116

2.4%(0.09ppm)인 것으로 추정된다. 강수량의 경우 태화교와 명촌교에서는 5% 수준에서, 학성교에서는 10% 수준에서 통계적으로 유의하였으며, 삼호교에서는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 강우기에 유량의 증가로 오염물질이 희석되기 때문인 것으로 판단되며, 도심 지역이 아닌 삼호교의 경우에는 오염물질의 부하량이 적어서 강우의 영향을 적게 받는다는 것으로 추측된다. <표 5>의 측정지점별 추정결과 가정오수관 연결사업의 효과가 가장 큰 지점은 학성교로 자료기간 중 다른 조건이 일정할 때 BOD 3.78ppm의 감소효과(-0.028\*학성교 평균 BOD\*사업비용(10억 단위))가 있었으며, 퇴적오니 준설사업의 효과는 태화교 지점에서 가장 높으며 동 기간 중 BOD 2.20ppm 감소효과(-0.032\*태화교 평균 BOD\*사업비용(10억 단위))가 있었던 것으로 추정된다.

한편 측정지점별 추정모형에서 명촌교를 제외한 3개 측정지점에서는 오차항의 자기상관( $\rho$ )이 적어도 10% 수준에서 통계적으로 유의하게 나타나고 있으나 자기상관이 교정된 AR1-ML 모형에서는 더빈왓슨 통계량[DW=2(1- $\rho$ )]이 2에 근접하여( $\rho \approx 0$ ) 자기상관이 없는 것으로 나타나고 있다.

태화강 하류전체와 측정지점별 수질개선에 대한 수질개선사업의 총투자 효과를 분석하기 위하여 가정오수관 연결사업과 퇴적오니 준설사업의 투자비용을 합산한 총투자 효과 분석모형의 추정결과 <표 6>에 요약되었다. 하류전체 TSCS 모형의 추정결과 수질개선사업 총투자 효과는 사업비 10억 원 당 하류 평균 BOD의 2.3%(0.084ppm)가 저감된 것으로 나타났으며 분석대상 기간의 총투자비용 426억 원을 계상하면 하류 평균 BOD는 3.578ppm 저

감된 것으로 추정된다. 이러한 결과는 <표 5>의 가정오수관 연결사업 효과 2.288ppm 저감과 퇴적오니 준설사업 효과 1.312ppm 저감의 합인 3.60ppm과 통계적으로 유의한 차이가 없다. 측정지점별 추정결과에서는 4개 측정지점 모두에서 총투자의 회귀계수가 5% 수준에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며 측정지점별 총투자 효과는 10억 원당 삼호교의 경우 BOD 2.2%(0.037ppm) 감소, 태화교 BOD 1.8%(0.077ppm) 감소, 학성교 2.6%(0.132ppm) 감소, 명촌교 2.24% (0.087ppm) 감소로 나타났으며, 총투자 효과는 동기간 동안 삼호교 1.576ppm 감소, 태화교 3.28ppm 감소, 학성교 5.623ppm 감소, 명촌교 3.706ppm 감소로 추정된다. 4개 측정지점별 총투자 효과도 개별 사업투자효과의 합과 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

한편, 울산발전연구원(2008)의 “태화강 방사보 철거 이후 생태·수질환경 영향 조사 및 평가” 보고서에서는 방사보 철거 이후 태화강의 종 다양성 및 이동성이 증가하고 있으며, 태화교의 수질이 점차로 개선되고 있으며 수질 변동성이 감소되고 있는 것으로 평가하고 있다. 그러나 이러한 태화강의 수질개선과 종 다양성 증가는 방사보 철거를 포함한 가정오수관 연결사업, 퇴적오니 준설사업 등의 복합적인 결과인 것으로 분석하고 있다. 본 연구에서는 방사보 철거가 태화강 하류 전체와 측정지점별 수질개선에 어느 정도 영향을 주는가를 분석하기 위하여 다양한 모형을 검정하였다. 결론부터 언급하면 방사보 철거의 태화강 하류 수질에의 기여도는 가정오수관 연결사업과 퇴적오니 준설사업보다는 낮은 것으로 판단되지만 울산발전연구원(2008)의 연구결과와 마찬가지로 다른 수질개선사업과 복합적인 수질개선 효과를 가지는 것으로 추측된다.

방사보 철거의 수질개선 효과를 분석하기 위하여 오수관, 퇴적오니, 방사보, 강수량을 독립변수로 회귀분석을 실시하였으나 퇴적오니와 방사보 간의 상관관계수가 0.876으로 두 변수의 높은 상관관계에 기인하는 다중공선성 때문에 퇴적오니와 방사보의 회귀계수가 모두 통계적인 유의성이 없었다. 총투자, 방사보, 강수량을 독립변수로 한 모형에서도 역시 총투자와 방사보의 높은 상관관계(상관계수=0.702) 때문에 방사보의 회귀계수는 통계적인 유의성이 없는 것으로 추정되었다. 그러나 오수관, 방사보, 강수량을 독립변수로 사용한 모형 추정결과는 <부록>에서 보는 것처럼, 방사보 철거는 하류 전체의 경우 5% 수준에서, 측정지점별로는 태화교와 학성교의 경우에 10% 수준에서 통계적으로 유의한 수질개선 효과를 보인다. 이러한 결과는 방사보 철거도 수질개선에 유의한 영향을 가지지만 퇴적오니 등 다른 독립변수와의 다중공선성 때문에 회귀계수의 통계적 유의성이 없는 것으로 나타난 것이라는 사실을 시사한다.

그러나 실제로 수질개선에 영향이 있는 방사보 변수를 제외하고 추정할 경우 다른 독립변수의 영향을 과대(또는 과소)추정하는 편이가 발생하기 때문에 이러한 편의를 제거하고, 방사보 철거의 수질개선 효과를 추정하기 위하여 총투자, 방사보, 강수량을 독립변수로 하는 모형을 추정하였으며 추정결과는 <표 7>에 요약되어 있다. <표 7>에서 보는 것처럼 총투자는 모든 모형에서 5% 수준의 통계적 유의성이 있으나, 방사보는 통계적 유의성이 없다. 그럼에도 불구하고 방사보의 회귀계수는 불변 추정량이며 다중공선성 때문에 표준오차가 증가하여 통계적인 유의성은 없지만 그 회귀계수의 점추정치는 방사보의 효과로 해석할 수도 있다. 다음 절에서는 <표 5>~<표 7>의 추정결과를 이용하여 각 수질개선사업의 투자효과를 비교 분석한다.

표 7\_ 모형 추정 결과(총투자+방사보)

변수	하류 전체 TSCS모형	삼호교 AR1-ML모형	태화교 AR1-ML모형	학성교 AR1-ML모형	명촌교 AR1-ML모형
상수	1.977 (15.668)**	1.190 ( 4.324)**	1.938 ( 7.869)**	2.262 ( 8.108)**	2.074 (11.832)**
총투자	-0.022 (-6.221)**	-0.026 (-3.405)**	-0.013 (-1.952)*	-0.022 (-2.872)**	-0.024 (-4.983)**
방사보	-0.085 (-0.635)	0.203 (0.696)	-0.259 (-0.979)	-0.233 (-0.792)	-0.017 (-0.088)
강수량	-0.008 (-3.128)**	0.002 (0.297)	-0.018 (-3.409)**	-0.010 (-1.728)*	-0.007 (-1.641)
$\rho$	<주 2> 참조	0.253 (2.847)**	0.154 (1.692)*	0.202 (2.229)**	0.115 (1.266)
Log 우도	-481.866	-116.103	-116.126	-122.694	-81.977
Pseudo $R^2$	0.177	0.199	0.233	0.259	0.353
OLS DW	-	1.516	1.702	1.618	1.756
AR-ML DW	-	2.026	1.989	2.083	2.027
표본수	476	119	119	118	120

주: 1) ( ) 수치는 t-값, \*, \*\*는 각각 10%와 5%에서 통계적으로 유의함을 표시함  
 2) 집단별  $\rho$ 는 삼호: 0.221, 태화: 0.212, 학성: 0.195, 명촌: 0.119

### 3. 모형별 수질개선사업의 BOD 저감효과 비교분석

<표 8>은 상기 <표 5~7>의 모형 추정결과를 기반으로 모형별 수질개선사업의 측정지점별 BOD 저감효과를 요약하고 있다. 오수관+퇴적오니 모형(<표 5> 참조)의 합산효과(C)는 총투자모형(<표 6> 참조)의 총투자효과(D)와 거의 일치한다. 이러한 결과는 두 모형 모두 추정의 강건성(robustness)을 가지고 있음을 보여준다. 그러나 총투자+방사보모형(<표 7> 참조)의 총투자효과(E)는 총투자 모형의 총투자효과(D)와 오수관+퇴적오니모형의 합산효과(C)보다 작게 나타나고 있다. 이러한 결과는 오수관+퇴적오니 모형과 총투자모형에서 방사보

변수의 누락으로 인한 과대 추정의 결과로 해석된다. 그러나 이것은 두 모형의 추정이 잘못되었다는 것을 의미하는 것이 아니라 각 사업의 효과를 해석할 때 다소 과대 평가의 가능성이 있다는 점을 염두에 두어야 한다는 것을 시사한다.

오수관+퇴적오니모형에서 가정오수관 연결사업의 수질개선 효과, 즉 오수관효과(A)는 학성교에서 가장 높고 태화교에서 가장 낮게 나타나고 있다. 삼호교의 경우 오수관효과의 절대적인 수치는 작지만 총수질개선 중 오수관효과가 70.9%를 차지하고 있어서 삼호교 측정지점의 수질개선에 크게 기여했음을 보여준다. 퇴적오니 준설사업 효과(B)는 태화교에서 가장 높게 나타나고 있으며 준설사업이 삼호교 하류에서 시행되었기 때문에 삼호교에

서는 그 효과가 없는 것으로 추정되었다. 태화교를 제외한 모든 측정지점에서 오수관효과가 퇴적오니 효과보다 높게 나타나고 있으며, 태화강 하류 전체의 합산효과(C)는 총수질개선의 74.8%를 차지하고 있어서 태화강 하류 수질개선사업의 총투자효과가 매우 높은 것으로 판단된다. 측정지점별 합산효과(C)는 학성교에서 가장 높게 나타나고 있다. 명촌교의 경우 합산효과가 총수질개선보다 높게 나타나고 있는데 이것은 추정오차에 기인한다.

총투자 모형의 경우 총투자효과(D)는 오수관+퇴적오니 모형의 합산효과(C)와 거의 일치하고 있다. 그러나 전술한 바와 같이 총투자+방사보모형의 총투자효과(E)는 오수관+퇴적오니 모형의 합산효과(C)나 총투자 모형의 총투자효과(D)보다 낮게 나타나고 있는데 이것은 상기 두 모형에서 방사보 변수의 누락에 기인한 사업효과의 과대추정치인 것으로 판단된다. 환언하면 오수관+퇴적오니 모형 총투자+방사보 모형의 오수관효과(A) 및 퇴적오니효과(B)와 총투자 모형의 총투자효과(D)에 방사보효과가 포함되어 있다는 것을 의미한다. 총투자 모형의

방사보효과(F)는 통계적인 유의성이 없기 때문에 액면 그대로 받아들이기에는 해석상의 무리가 따른다. 그러나 총투자효과(D)와 (E)는 모두 통계적인 유의성이 있기 때문에 순방사보효과(H)는 (D)-(E)로 파악해도 무방할 것으로 판단된다.

이 경우 순방사보효과(H)는 하류 전체에서는 낮지만 측정지점별로는 태화교와 학성교에서는 상대적으로 높게 나타난다. 방사보와 퇴적오니의 피어선 상관계수가 0.876으로 매우 높게 나타나고 있기 때문에 오수관+퇴적오니 모형의 퇴적오니효과(B)에서는 정확하게 구분하기는 어렵지만 순방사보효과(H)의 상당한 부분이 포함되어 있는 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구는 1998년 1월부터 2007년 12월까지 태화강 하류 4개 수질측정지점의 매월 1회차 수질측정 원자료를 이용하여 태화강 하류의 측정지점별 수질개선 추이와 태화강의 각종 수질개선사업이 측

표 8\_ 모형별 수질개선사업의 BOD 저감효과

(단위: ppm)

측정지점	총수질 개선	오수관 + 퇴적오니 모형			총투자 모형	총투자 + 방사보 모형			순방사보 효과 (H=D-E)
		오수관 효과(A)	퇴적오니 효과(B)	합산효과 (C=A+B)	총투자 효과(D)	총투자 효과(E)	방사보 효과(F)	합산효과 (G=E+F)	
하류전체	4.81	2.29	1.31	3.60	3.58	3.44	0.31	3.75	0.14
삼호교	2.23	1.58	0.00	1.58	1.58	1.88	-0.35	1.53	-0.30
태화교	4.47	1.14	2.20	3.34	3.28	2.38	1.11	3.49	0.90
학성교	13.46	3.78	1.95	5.73	5.62	4.76	1.18	5.94	0.86
명촌교	3.66	2.31	1.39	3.70	3.71	3.70	0.06	3.76	0.10

주: 모형 적용 기간은 1998년 1월부터 2007년 12월까지이며, 동기간 중 가정오수관 연결사업 총투자비용은 266억 원, 퇴적오니 준설사업 총투자비용은 160억 원, 총투자비용은 426억 원으로 계상되었음.

정지점별 수질개선에 미친 영향을 계량적으로 분석하였다. 본 연구의 분석결과와 정책적 함의는 다음과 같다.

태화강 하류의 평균 수질은 1998년 평균 6.47ppm에서 2007년에는 평균 1.66ppm으로 현저히 낮아졌다. 수질의 분산 정도도 매년 낮아지는 추세를 보여 수질개선의 안정성도 높아지고 있는 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 갈수기에는 수질이 급격히 악화되는 시점이 나타나고 있어서 이에 대한 개선이 요구된다.

측정지점별로는 삼호교의 경우 BOD 기준으로 2000년 평균 3.21ppm을 정점으로 지속적으로 감소하여 2007년 현재 0.98ppm으로 낮아졌으며, 2002년 이후 평균적으로는 Ib등급 수질을 유지하고 있다. 태화교에서는 2001년 6.47ppm로 최고치를 기록한 후 점차 감소하여 2007년 평균은 2.00ppm으로 현저히 개선되었으나 갈수기에는 수시로 10ppm을 초과할 정도로 수질이 악화되기도 한다. 학성교의 경우 1998년 평균 15.34ppm을 기록한 이후 점진적으로 개선되어 2007년에는 평균 1.88ppm으로 개선되었으며 안정적인 II등급 수질을 유지하고 있고, 명촌교에서도 1999년 평균 4.89ppm이었으나 2003년 이후 평균적으로 II등급 수질을 유지하고 있으며, 2007년에는 평균 1.77ppm으로 Ib등급 수질로 개선되었다.

태화강 하류 수질개선사업의 투자효과 분석의 주요 결과는 다음과 같다. 하류전체에는 TSCS모형, 측정지점별에는 AR1모형을 이용하여 최우추정법으로 추정하였다. 추정결과 수질개선사업의 총투자비용은 하류 전체평균 BOD 3.58ppm의 저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 가정오수관 연결사업 효과 2.29ppm 저감과 퇴적오니 준설사업 효과 1.31ppm 저감의 합인 3.60ppm과 통계적으로 유의한 차이가 없다. 측정

지점별 추정결과에서는 4개 측정지점 모두에서 총투자의 회귀계수는 5% 수준에서 통계적으로 유의하였으며, 측정지점별 총투자효과는 삼호교 1.58ppm 감소, 태화교 3.28ppm 감소, 학성교 5.62ppm 감소, 명촌교 3.71ppm 감소로 나타났으며, 4개 측정지점별 총투자효과도 사업별 투자효과의 합과 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

측정지점별 추정결과, 가정오수관 연결사업은 태화교에서만 유의하지 않으며, 퇴적오니 준설사업은 태화교와 명촌교에서만 통계적으로 유의하게 나타났다. 측정지점별 추정결과 가정오수관 연결사업의 효과가 가장 큰 지점은 학성교로 BOD 3.78ppm의 감소효과가 있었다. 퇴적오니 준설사업의 효과는 태화교 지점에서 가장 높고 동기간 중 BOD 2.20ppm 감소효과가 있었던 것으로 추정된다. 그러나 퇴적오니 및 오수관 간의 높은 상관관계 때문에 오수관 변수가 누락되었기 때문에 퇴적오니효과와 오수관효과는 방사보효과의 일부를 포함하고 있는 것으로 판단된다. 방사보 철거효과는 가정오수관 연결사업, 퇴적오니 준설사업 등의 효과에 비하면 태화강 하류 수질개선에 미친 영향은 낮은 것으로 추정되지만 복합적으로 수질개선에 기여한 것으로는 평가된다.

또한 모형의 추정결과 대부분의 경우 강수량이 수질에 통계적으로 유의한 영향을 미치고 있으며, 강수량은 갈수기의 수질악화와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 갈수기에는 철저한 수질모니터링을 통한 동절기 녹조발생 등의 조기 차단과 지천의 유지용수 확보 등의 정책이 필요함을 시사한다. 이와 더불어 보다 정교한 수질에 측과 수질개선사업의 효과분석을 위하여 측정지점별 수질측정 시에 수질요인뿐만 아니라 유량, 유속, 수온 등의 측정이 요청된다.

**참고문헌**

김광수·권오상. 2009. “수질오염도의 공간적 분포변화 분석: 한강 유역을 대상으로”. 자원환경경제연구 제18권 제1호. 서울: 한국자원환경경제학회. pp105-138.

김광임·민동기·정희성·임현정·김미숙. 1999. 수질오염의 사회적 비용 계량화 연구-한강수계를 중심으로. KEI/1999/RE-09 연구보고서. 서울 : 한국환경정책·평가연구원.

김상단·유철상. 2004. “시계열 모형의 적용을 통한 댐 방류의 수질개선 효과 검토”. 수질보전 한국물환경학회지 제20권 제6호. 서울: 한국물환경학회. pp685-691.

김재홍. 2006. 환경자원의 경제적 가치와 환경오염의 사회적 비용. 서울 : 집문당.

\_\_\_\_\_. 2007. “시민지불의사에 기초한 태화강 수질개선의 사회적 편익”. 환경정책연구 제6권 제1호. 서울 : 한국환경정책·평가연구원. pp83-109.

\_\_\_\_\_. 2009. “다항선택형 조건부가치측정법을 이용한 태화강 수질개선의 경제적 가치추정”. 지방정부연구 제13권 제3호. 부산 : 한국지방정부학회. pp137-154.

신영철. 1997. “이중 양분선택형 질문 CVM을 이용한 한강 수질개선 편익 추정”. 환경경제연구 제6권 제1호. 서울 : 한국환경경제학회. pp171-192.

엄영숙. 2001. “만경강 수질개선 편익측정을 위한 조건부가치평가에 있어서 범위효과 분석”. 자원·환경경제연구 제10권 제3호. 서울: 한국자원환경경제학회. pp387-412.

울산광역시 환경정책과. 2008. 내부자료.

울산광역시. 2008. 울산환경백서. 울산 : 울산광역시.

울산발전연구원. 2008. 태화강 방사비 철거 이후 생·수질환경 영향 조사 및 평가. 울산 : 울산발전연구원.

유 제 정 · 이 철 구 · 김 문 수 · 윤 영 삼 · 권 현 각 · 송 재 기 · 이 선 영 · 신 찬 기. 2007. “낙동강의 장기 수질변동 추세분석 연구 및 다변량 분석”. 2007년 환경공동학술대회. 서울.

유호식. 2004. “한강수질의 월변동성에 관한 연구”. 수질보전 한국물환경학회지 제20권 제4호. 서울 : 한국물환경학회. pp352-356.

이기호·곽승준. 1996. “수질개선의 화폐적 가치평가: CVM과 구분효과”. 자원경제학회지 제6권 제1호. 서울 : 한국자원환경경제학회. pp87-109.

이승복. 2002. “수질 개선가치 측정을 통한 환경기초시설 관리방안 연구”. 국토연구 34권. 경기 : 국토연구원. pp45-60.

이주석·유승훈·곽승준. 2007. “낙동강 수질개선의 편익추정: 1.5경계 양분선택형 조건부 가치측정법을 이용하여”. 경제연구 제25권 제2호. 서울 : 한국경제학회.

pp111-129.

이흥수·허진·정선아·황순진·신재기. 2006. “도시하천(갑천) 유역에서 수질오염의 공간적 특성”. 수질보전 한국물환경학회지 제22권 제5호. 서울 : 한국물환경학회. pp945-949.

조덕호·엄홍석. 2005. “낙동강 하천수질예측에 관한 연구-월별 시계열자료를 이용한 고령지점을 중심으로-”. 환경정책 제13권 제2호. 서울 : 환경정책학회. pp5-30.

조승국·신철오. 2005. “한강 수질개선의 속성별 경제적 편익-컨조인트 분석법을 이용하여-”. 자원·환경경제연구 제14권 제3호. 서울 : 한국자원환경경제학회. pp655-672.

한미덕·이은주·오조교·김웅수·남공은·정옥진. 2009. “팔당수계 주요하천 수질의 시·공간적 특성”. 수질보전 한국물환경학회지 제25권 제1호. 서울 : 한국물환경학회. pp400-403.

Greene, W. H. 2003. *Econometric Analysis*. 5th ed. Englewood Cliffs : Prentice Hall.

Greene, W. H. 2007. *LIMDEP Version 9.0*. NY : Economic Software, Inc.

Newbold, P. 1988. *Statistics for Business and Economics*. 2nd ed. NJ: Englewood Cliffs.

Padgett, W. J., G. Schulz, and C. P. Tsokos. 1977. “A Stochastic Model for BOD and DO in Streams when Pollutants are Discharged over a Continuous Stretch”. *International Journal of Environmental Studies* vol.11, no.1. UK : Routledge. pp45-55.

Ramakar, J., C. Ojha, and K. Bhatia. 2007. “Development of Refined BOD and DO Models for Highly Polluted Kali River in India”. *Journal of Environmental Engineering* vol.133, no.8. VA: ASCE publications. pp839-852.

- 논문 접수일: 2009. 7. 8
- 심사 시작일: 2009. 7.23
- 심사 완료일: 2009. 9.14

**[부록]**

**부표 1 \_ 모형 추정 결과(오수관+방사보)**

변수	하류 전체 TSCS 모형	삼호교 AR1-ML모형	태화교 AR1-ML모형	학생교 AR1-ML모형	명촌교 AR1-ML모형
상수	2.122 (14.301)**	1.409 ( 4.436)**	2.012 ( 7.032)**	2.466 ( 7.573)**	2.220 (10.675)**
오수관	-0.028 (-6.240)**	-0.034 (-3.603)**	-0.016 (-1.912)*	-0.030 (-3.061)**	-0.030 (-4.839)**
방사보	-0.287 (-2.515)**	-0.022 (-0.090)	-0.395 (-1.777)*	-0.417 (-1.686)*	-0.251 (-1.556)
강수량	-0.008 (-3.035)**	0.002 (0.316)	-0.018 (-3.390)**	-0.010 (-1.711)*	-0.006 (-1.529)
$\rho$	<주2 참조>	0.239 (2.677)**	0.149 (1.637)	0.197 (2.174)**	0.126 (1.390)
Log 우도	-482.527	-115.650	-116.219	-122.208	-82.322
Pseudo $R^2$	0.180	0.210	0.233	0.268	0.347
OLS DW	-	1.543	1.710	1.626	1.733
AR-ML DW	-	2.018	1.990	2.076	2.028
표본수	476	119	119	118	120

주: 1) ( ) 수치는 t-값, \*, \*\*는 각각 10%와 5%에서 통계적으로 유의함을 표시함.

2) 집단별  $\rho$ 는 삼호: 0.209, 태화: 0.208, 학생: 0.192, 명촌: 0.130

---

**ABSTRACT**


---

### **The Effects of the Project Investment for Water Quality Improvement in the River Taehwa**

Keywords: River Taehwa, Water Quality Improvement, Household Soil Pipe Connection, Dredging Sediments, Autocorrelation

The Ulsan Metropolitan City had been stigmatized as a pollution city with heavy industrialization since 1970's. Recently, however, the city has made a model case in Korea in terms of the transformation from a pollution city to an eco-city. The water quality improvement of the River Taehwa, which is running midst of the city, is one of the dramatic environmental achievements. The river water quality in the downstream area has been improved from 11.7ppm in 1991 to 1.7ppm in 2007 in terms of BOD. This study analyzes the effects of the project investments on the river water quality improvement. The major findings from the estimation results using the TSCS and AR1 regression models with correction of autocorrelation show that the household soil pipe connection project with investment of 26.6 billion KRW has reduced 2.29ppm in BOD at the downstream of the River Taehwa during the period of January 1998 to September 2007 and that the project dredging sediments at the river bottom with investment of 16 billion KRW has resulted in the decrease of 1.31ppm in BOD at the same period.

### **태화강 수질개선사업의 투자효과 분석**

주제어: 태화강, 수질개선사업, 가정오수관, 퇴적오니준설, 자기상관

울산광역시의 태화강 수질개선사업의 결과 태화강 하류의 평균수질은 1991년 11.7ppm에서 2007년 1.7ppm으로 획기적인 개선이 이루어졌다. 그러나 막대한 예산의 투입에도 불구하고 현재 까지 각종 태화강 수질개선사업별 수질개선 효과에 대한 계량적 분석이 전무한 실정이다. 본 연구에서는 태화강 수질측정지점별 원자료(매월 1회차 시계열 측정자료)를 이용하여 자기상관 회귀분석과 시계열형태 회귀분석을 이용하여 태화강 하류의 수질개선사업별 수질개선의 계량적 효과를 하류 전체와 4개 측정지점별로 분석한다. 분석 결과 1998년 1월~2007년 12월의 기간 동안 가정오수관 연결사업과 퇴적오니 준설사업은 태화강 하류수질을 BOD 기준으로 각각 2.29ppm와 1.31ppm 감소시킨 것으로 나타났다.